



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut  
Metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool

**Ants Nokkur**

**SÜSINIKU SIDUMINE JA VARUD ERINEVA VANUSEGA  
JÄNESEKAPSA KASVUKOHATÜÜBI KUUSIKUTE (*Picea  
abies* [L.] KARST) MAAPEALSES BIOMASSIS**

CARBON ACCUMULATION AND STORAGES IN THE  
ABOVEGROUND BIOMASS OF NORWAY SPRUCE (*Picea abies*  
[L.] KARST) STANDS OF DIFFERENT AGES GROWING IN  
*OXALIS* SITE TYPE

Magistritöö  
Metsamajanduse õppekava

Juhendaja(d): Prof. Veiko Uri, *PhD*  
Teadur Mats Varik, *PhD*

Tartu 2019



|   |              |   |            |
|---|--------------|---|------------|
| Eesti Maaülikool  |              | Magistritöö lühikokkuvõte   |            |
| Kreutzwaldi 1, Tartu 51006  |              |   |            |
| Autor: Ants Nokkur  |              | Õppekava: Metsamajandus   |            |
| Pealkiri: Süsiniku sidumine ja varud erineva vanusega jänesekapsa kasvukohatüübi kuusikute ( <i>Picea abies</i> [L.] Karst) maapealses biomassis  |              |   |            |
| Lehekülgi: 25   | Jooniseid: 5 | Tabeleid: 3   | Lisasid: 1 |
| Osakond / Õppetool:   |              | Metsakasvatus ja metsaökoloogia                                       |            |
| ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:   |              | 1.5 metsateadus (B430 Metsakasvatus, metsandus, metsandustehnoloogia) |            |
| Juhendaja(d):   |              | Veiko Uri, Mats Varik   |            |
| Kaitsmiskoht ja -aasta:   |              | Tartu 2019  |            |
| <p>Harilik kuusk on üks levinumaid puuliike Eesti metsades. Biomassi produktsiooni ning süsiniku dünaamika uurimine on olulised võimalikult täpsete riiklike süsiniku raportite koostamiseks. Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata jänesekapsa kasvukohatüübi kuusikute maapealse osa biomassi ning selles akumuliseerunud süsinikuvaru. Uuritud kuusikud jäid vanusevahemikku 10-125 aastat ja jagati vastavalt puistu vanusele arenguklassidesse.</p> <p>Uuritud puistute maapealse osa biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit. Välitööd viidi läbi 2018. aasta sügisel.</p> <p>Uuritud kuusikutes suurenes puistute maapealne biomass kuni 80 a. vanuseni. Üleseisnud kuusiku (125 a.) maapealne biomass oli aga oluliselt madalam, seda peamiselt puistu hõredusest ning sanitaarsest seisundist tulenevalt. Leitud keskmine aastane tüvemassi juurekasv (MAI) saavutas maksimumi (6,9 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>) 44-aasta vanuses puistus, vanemates kuusikutes hakkas MAI vähenema.</p> <p>Süsiniku (C) kontsentratsioon hariliku kuuse maapealsetes fraktsioonides varieerus vahemikus 44-49 %. Kuna puistus seotud C kogus sõltub otseselt puude biomassist, siis järgib puistute C sidumise dünaamika biomassi dünaamikat ning on vanuse kasvades tõusev. Suurimad puudesse seotud C varud oli 62-80 aasta vanustes kuusikutes (125-204 t C ha<sup>-1</sup>). Keskmine aastane C sidumine puude maapealsesse biomassi on kõrgeim keskealistes puistutes (5,3-6,2 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).</p> |              |   |            |
| Märksõnad: Maapealne biomass, produktsioon, harilik kuusk, mudelpuude meetod, süsinik   |              |   |            |

|   |            |  |               |
|---|------------|--|---------------|
| Estonian University of Life Sciences<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51006  |            | Abstract of Master's Thesis  |               |
| Author: Ants Nokkur   |            | Speciality: Forest management  |               |
| Title: Carbon accumulation and storages in the aboveground biomass of Norway spruce ( <i>Picea abies</i> [L.] Karst) stands of different ages growing in <i>Oxalis</i> site type  |            |  |               |
| Pages: 25   | Figures: 5 | Tables: 3  | Appendixes: 1 |
| Department / Chair:   |            | Silviculture and Forest Ecology                                      |               |
| Field of research and (CERC S) code:  |            | 1.5 forest sciences (B430 silviculture, forestry, forest technology) |               |
| Supervisors:  |            | Veiko Uri, Mats Varik  |               |
| Place and date:   |            | Tartu, 2019  |               |
| <p>Norway spruce is one of the most common tree species in Estonian forests. Investigating tree biomass production and carbon (C) dynamics are important to compile relevant carbon reports. The aim of this Master's Thesis was to estimate Norway spruce aboveground biomass in <i>Oxalis</i> site type as well as to estimate accumulated C pools of stands. Current study was carried out as a chronosequence of 10-125 year-old Norway spruce stands, which were divided into development classes by stand age.</p> <p>The model tree method was used to estimate the aboveground biomass of stands. Fieldwork was carried out in the autumn of 2018.</p> <p>The aboveground biomass increased with stand age until the 80-years-old. The aboveground biomass (269 t ha<sup>-1</sup>) of the over-matured development class (125-year-old) was less than middle-age or matured stands due to the lower stand density and poorer sanitary conditions. Mean annual increment (MAI) reached the maximum at the age of 44-year (6.9 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>).</p> <p>The C concentration of the different fractions of Norway spruce varied in the range of 44-49%. As the amount of accumulated C is directly related on biomass production of the stands, the C accumulating dynamics of the stands imitates the dynamics of aboveground biomass and increases with stand age. The largest C storages (125-204 t C ha<sup>-1</sup> ) were estimated at the age of 62-80 years.</p> |            |  |               |
| Keywords: Aboveground biomass, Norway spruce, model tree method, carbon   |            |  |               |

# SISUKORD

|  |    |
|--|----|
| SISSEJUHATUS .....   | 5  |
| 1. MATERJAL JA METOODIKA.....  | 7  |
| 2. TULEMUSED JA ARUTELU .....  | 10 |
| 2.1. Kuuskede maapealse osa biomass.....   | 10 |
| 2.2. Süsiniku kontsentratsioon maapealse biomassi erinevates fraktsioonides.....   | 14 |
| 2.3. Süsiniku akumulatsioon maapealses biomassis .....   | 15 |
| 2.4. Süsiniku sidumine puude aastases produktsioonis.....  | 16 |
| KOKKUVÕTE .....  | 17 |
| VIIDATUD ALLIKAD .....   | 19 |
| LISAD.....   | 24 |
| Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta..... | 25 |

## SISSEJUHATUS

Kasvuhoonegaaside (KHG) kontsentratsiooni tõus atmosfääris kutsub esile kliimamuutusi, mis meie laiuskraadidel võivad avalduda põua, erakordsete sademete- ja külmalainete ning üleujutuste näol. Seega on kliimamuutused kaasaegse keskkonnapoliitika üks aktuaalsemaid probleeme (Hofmann *et al.*, 2006). Peamiseks KHG-ks atmosfääris on süsihappegaas (CO<sub>2</sub>), ning selle tase on tõusnud alates 19. sajandist, kui alustati fossiilsete kütuste intensiivsema põletamisega. Sel perioodil on CO<sub>2</sub> tase atmosfääris tõusnud 280 ppm-st (*parts per million*) kuni 410 ppm-ni (Page, 2019) ja seda seostatakse eelkõige ca. 200 aastat tagasi alanud tööstusrevolutsiooniga (Loria, 2018).

Lähiminevikus sõlmitud kliimalepetest (1997 a. Kyoto ja 2015 a. Pariis) tulenevalt on ka Eestil kohustus esitada iga nelja aasta järel riiklik kliimaaruanne. Selle aruande põhjal moodustas 2017. aastal CO<sub>2</sub> 89,3 % summaarsest Eesti KHG heitkogusest. Peamine kasvuhoonegaaside siduja Eestis on maakasutuse ja metsanduse sektor ehk nn. LULUCF (*Land use, land-use change and forestry*), millest metsamaa ja puidukasutus moodustas 74,8% (Eesti seitsmes kliimaaruanne, 2017). ÜRO 2015. aasta Pariisi kliimaleppe eesmärk on vähendada fossiilsete kütuste põletamist, samal ajal suurendada taastuvenergia kasutamist 20 %-ni summaarsest lõpptarbimisest ning seeläbi hoida globaalset temperatuuri tõusu alla 2 °C (UNFCCC eHandbook). Taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaal summaarses lõpptarbimises oli Euroopa Liidus 2016 aasta seisuga 17 %, Eesti vastav näitaja oli 29 % (Eurostat).

Nii süsiniku (C) sidujate kui ka taastuvenergia ressursina on oluline roll boreaalsetel ning hemiboreaalsetel metsadel. Metsade võime siduda C nii biomassi kui ka mulda on nende oluline funktsioon, mis võimaldab tasakaalustada C bilansi globaalsel tasandil ning seeläbi leevendada kliimamuutusi (Kleja *et al.*, 2007).

Metsad katavad 30,6 % maismaa kogupindalast ning seovad atmosfäärist ligi 30 % inimkonna poolt emiteeritud süsinikust (Muller *et al.*, 2016). Hinnanguliselt on metsade globaalne C koguväru  $861 \pm 66$  Pg C millest 45 % asub mullas, 42 % maapealses- ning maa-aluses biomassis, 8 % surnud puidus ning 5 % varises (Pan *et al.*, 2011). Süsiniku sidumisel on suurem osakaal boreaalsetel ning parasvöötme metsadel, mis seovad vastavalt 0,5 ja 0,8 Gt C a<sup>-1</sup>

(Houghton *et al.*, 2012). Troopiliste metsade osakaal Maa C bilansi tasakaalustamisel on minimaalne, kuna biomassi juurdekasv on tasakaalus puidu kiire lagunemise ja raadamise tulemusel toimuva C emissiooniga (Stephens *et al.*, 2007).

Samas on erinevate metsade C vood ja varud väga varieeruvad, olenedes paljudest looduslikest teguritest. Puistu liigiline koosseis, vanus, kasvukohatüüp ning tihedus on peamised tegurid, mis mõjutavad oluliselt biomassi juurdekasvu ning seeläbi C akumulatsioonist ökosüsteemis (Wei *et al.*, 2013). Pidades silmas kliimamuutuste leevendamist on oluline metsade püsivalt kõrge juurdekasv ning seeläbi efektiivne C akumulatsioon (MAK, 2020). Kõrge tootlikkusega puistute kasvatamise ning jätkusuutliku metsade majandamise üheks eelduseks on metsaökoloogia põhjalik tundmine ning selle alusel nende arengu suunamine (Lõhmus, 2004).

Metsade C sidumise hinnangud peavad põhinema teaduslikel uurimistöödel ja usaldusväärsetel mudelitel. Eesti metsade suur varieeruvus ning seniste andmete vähesus ei võimalda hetkel koostada nende regionaalset C sidumise mudelit. Kuigi metsade C ringe teaduslike uuringuid on Eestis viimasel kümnendil läbi viidud mitmeid (Uri *et al.*, 2012; 2017; 2019, Aosaar *et al.*, 2013; Varik *et al.*, 2015; Kriiska *et al.*, 2019) ei kata need kaugeltki kõiki Eesti metsade ökosüsteeme. Samas on koostatava MAK 2030 alusuuringus ühe eesmärgina välja toodud vajadus koostada teadusuuringutel põhinevad Eesti metsade süsinikumudelid (MAK 2030 alusuuring).

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata jänesekapsa kasvukohatüübis kasvavate erivanuseliste kuusikute maapealse osa biomassi ja selles seotud C varu ning hinnata nende puistute aastast C sidumise voogu. Jänesekapsa kasvukohatüübis on kuusepuistud kõrge tootlikkusega, kuuludes Ia ja I boniteedi klassi (Laas *et al.*, 2011) ning nad moodustavad majandatavatest kuuse enamusega puistutest ligikaudu kolm neljandikku (Aastaraamat Mets, 2017). Kui varasemalt on Eestis metsade C ringe uuringuid läbi viidud arukaasikutes (Varik *et al.*, 2013; 2015) ning hall-lepikutes (Uri *et al.*, 2014; 2017), siis okaspuude osas on seni C ringe uuringuid vähem tehtud. Männikute mõningaid C ringe varusid ja voogusid on hinnatud lõputöodes (Uri, 2016; Buht, 2017; Silm, 2018), kuid hariliku kuuse enamusega puistute kohta C sidumise hinnangud Eestis on väga tagasihoidlikud. Äsja ilmus teadusartikkel C sidumisest Eesti kuusikutes ja männikutes (Kriiska *et al.*, 2019) kuid selles uuringus hinnati puistute maapealset biomassi mudelite põhjal. Euroopas on varasemalt kuusikute C varusid ja – voogusid hinnanud Kleja *et al.*, (2007) ja Nilsen & Strand, (2013).

# 1. MATERJAL JA METOODIKA

Käesolev magistritöö on valminud osana KIK (Keskkonnainvesteeringute Keskus) rahastatavast projektist „Süsinikubilanss viljakate kuusikute vanuseraas“. Autor osales prof. Veiko Uri poolt juhitava töörühma koosseisus väli- ning labortööde läbiviimisel ning andmete analüüsimisel.

Töös hinnati hariliku kuuse *Picea abies* (L. Karst) maapealse osa biomassi ning selles seotud C kogust. Projekti käigus rajatud kümme katseala (Tabel 1) paiknevad Lõuna- ja Kagu-Eestis ning neis kasvavad kuusikud jäid vanusevahemikku 10-125 aastat. Puude biomassi hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit (Bormann & Gordon, 1984), mida on rakendatud ka eelpool mainitud töörühma mitmetes varasemates töödes (Lõhmus *et al.*, 1996; Varik 2009; Uri *et al.*, 2012; 2014, 2017; Silm, 2018). Meetod võimaldab hinnata puude biomassi erinevate fraktsioonide lõikes ja annab üsna häid tulemusi, kuid on väga töömahukas.

**Tabel 1.** Katsealade peamised takseerandmed.  $D_{1,3}$ -puistu keskmine rinnasdiameeter, H-puistu keskmine kõrgus, G-puistu rinnaslõikepindala

| nr. | Arenguklass         | Vanus [a] | Proovitükk [ha] | $D_{1,3}$ [cm] | H [m] | G [m <sup>2</sup> /ha] | Puistu tihedus [puud ha <sup>-1</sup> ] |
|-----|---------------------|-----------|-----------------|----------------|-------|------------------------|---|
| 1   | Noorendik, latimets | 10        | 0,03            | 4,5            | 4,2   | 3,7                    | 2316                                    |
| 2   | Keskealised         | 23        | 0,05            | 13,3           | 14    | 31                     | 2240                                    |
| 3   |                     | 27        | 0,06            | 14,3           | 14,2  | 35,3                   | 2192                                    |
| 4   |                     | 36        | 0,08            | 21,3           | 21,4  | 36,2                   | 1013                                    |
| 5   | Valmivad            | 44        | 0,06            | 24,9           | 25,2  | 51,6                   | 1063                                    |
| 6   |                     | 54        | 0,08            | 27,6           | 28,3  | 44,1                   | 738                                     |
| 7   | Raieküpsed          | 62        | 0,16            | 26,8           | 26,5  | 36,2                   | 644                                     |
| 8   |                     | 70        | 0,08            | 26,8           | 28,5  | 43,4                   | 769                                     |
| 9   |                     | 80        | 0,08            | 29,4           | 30,3  | 54,3                   | 800                                     |
| 10  | Üleseisnud          | 125       | 0,18            | 29,1           | 30,1  | 37,6                   | 566                                     |

Tabelis 1 esitatud proovitükkide pindalad on erinevad, sest proovitükkide paigutamisel puistusse püüti leida võimalikult ühtlane ja esinduslik ala. Peale proovitükkide ülepinnalist klappimist ja kõrguste mõõtmist valiti igast puistust välja 5 mudelpuud diameetrite sagedusjaotuse põhjal. Puude valikul välditi servaeefekti st. ei valitud metsas servas kasvavaid puid. Langetatud mudelpuudel mõõdeti kõrgus (üldpikkus) ja elusvõra algus, elusvõra jagati neljaks võrdseks sektsiooniks. Tüvi jaotati sektsioonideks: 0-1,3 m, 1,3 m kuni elusvõra alguseni ja sealt edasi neli tüvesektsiooni elusvõrast. Kõik tüvesektsioonid ning võrasektsioonist eraldatud oksad kaaluti metsas.

Tüvesektsioonide (0; 1,3; II; EVA; VõII) alumisest osast lõigati analüüsiketas tüvekoore ja -puidu osakaalu hindamiseks. Mudelpuude kõik kuivad oksad kaaluti metsas ühe fraktsioonina. Okaste ning- okste biomassi hindamiseks valiti igast sektsioonist keskmise diameetri ja pikkusega mudeloks. Mudeloksad ja eraldatud tüvekettad pakiti kilekottidesse, et vältida transpordil võimalikke kadusid ning toimetati laboratooriumisse, kus toimus nende edasine fraktsioneerimine ja analüüs.

Laboris eemaldati kuuse okstel viimase aasta kasvud (võrsed). Nii eemaldatud võrsed kui ka ülejäänud mudeloks kaaluti 0,01 g täpsusega ning asetati kastidesse kuivama (toatemperatuuril). Eelkuivatatud okste puhul on okaste ja okste (võrsete) eraldamine oluliselt väiksema ajakuluga. Kuivmassi määramiseks võeti iga mudeloksa okaste ja okste alamproov, mis kuivatati kuivatuskapis 70 °C kraadi juures püsiva kaaluni.

Analüüsiketastelt eemaldati koore ja puidu alamproovid, need kaaluti 0,01 g täpsusega ning kuivatati kuivatusahjus temperatuuril 70 °C samuti püsiva massi saabumiseni. Maaapealsete fraktsioonide kogumassid arvutati proovide kuivainesuhte ning erinevate fraktsioonide masside alusel. Kogutud andmete töötlemiseks kasutati tarkvara MS Excel. Mudelpuude maaapealse osa kuivmassid leiti erinevate fraktsioonide kokku liitmisel.

Koostati regressioonvõrrandid, mis kirjeldavad kuuse kogu maaapealse biomassi või tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist (1).

Kasutati allomeetrilist seost:

$$y = ax^b \quad (1)$$

kus,

y - puu maaapealse osa biomass või tüvemass (g),



x - puu rinnasdiameeter (cm)

a ja b - võrrandi parameetrid

Kasutatud astmefunktsioon kirjeldab hästi maapealse biomassi või tüvemassi sõltuvust puu rinnasdiameetrist ( $R^2 > 0,9$ ). Erinevate fraktsioonide biomass puistus arvutati nende protsentjaotuse alusel (mudelpuude andmete põhjal).

Proovitükkidelt kogutud mudelpuude fraktsioonide C sisaldus analüüsiti Eesti Maaülikooli mullateaduse ja agrookeemia laboris.

Puude tüvemassi produktsiooni (CAI) hinnati mudelpuudelt võetud ning hiljem lihvitud analüüsiketaste aastarõngaste mõõtmise teel. Kõigilt analüüsiketastelt mõõdeti viimase viie aastarõnga laiused 0,001 mm täpsusega, kasutades programmi WinDendro (Regent Instruments Inc.). Saadud mõõtetulemuste põhjal arvutati tüvepuidu aastane juurdekasv, kasutades valemit (2) (Whittaker & Woodwell, 1968).

$$\Delta W = W_o(r^2 - (r-i)^2)/r^2, \quad (2)$$

kus  $\Delta W$  on puidu kuivaine aastane juurdekasv g;

$W_o$  - puidu kuivmass g;

r - analüüsitava ketta raadius mm;

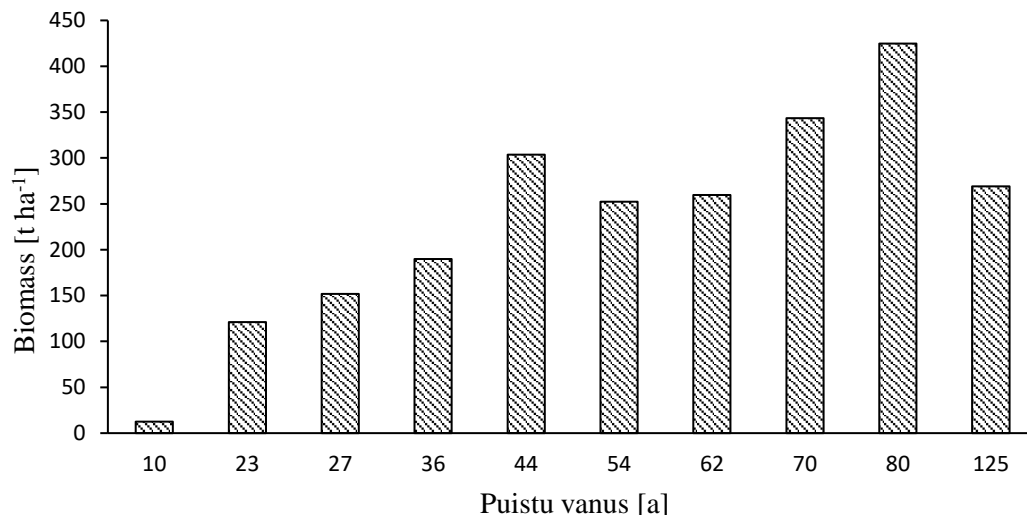
i - kolme viimase aasta keskmine aastarõnga laius mm.

## 2. TULEMUSED JA ARUTELU

### 2.1. Kuuskede maapealse osa biomass

Käesolevas töös hinnati puude maapealse osa biomassi kuusikute vanusereas 10-125 aastat, uuritud puistud jagati vastavalt „Metsa korraldamise juhendile“ arenguklassidesse (Tabel 1). Puude biomassi ja rinnasdiameetri vahelist seost kirjeldavate regressioonvõrrandite determinatsioonikordajad ( $R^2$ ) olid reeglina kõrged, jäädes vahemikku (0,95-0,99), ka olid võrrandid statistiliselt usaldusväärsed ( $P < 0,01$ ), mis on heas kooskõlas paljude varasemate samalaadsete töödega (Hytonen *et al.*, 1995; Uri *et al.*, 2007; 2012).

Kõrge tootlikkusega jänesekapsa kasvukoht kuulub laanemetsade tüübirühma. Iseloomulik on tüse parasniiske muld, mitmesugused leetunud  $Lk_1$ - $Lk_3$  või kahkjad LP mullad (Lõhmus, 2004). Ligi 46% laanemetsadest on kuuse enamusega puistud (Aastaraamat Mets, 2017). Kvaliteetse puidu ning kõrge tootlikkusega puistute keskmine hektaritagavara on  $278 \text{ m}^3$  (Laas *et al.*, 2011) ning ideaalsetel tingimustel võib ulatuda maksimaalselt  $800 \text{ m}^3$  hektari kohta (Lõhmus, 2004). Viljakale kasvukohale viitab neis metsades ka alustaimestik (jänesekapsas, jänesesalat, leseleht), raiesmikel domineerib sageli metskastik (Laas *et al.*, 2011). Jänesekapsa kasvukoht on ulatuslikumalt esindatud Kagu- ja Lõuna-Eestis (Lõhmus, 2004).



**Joonis 1.** Puistute maapealse biomassi ( $\text{t ha}^{-1}$ ) dünaamika kuusikute vanusereas

Puude maapealne biomassi dünaamika uuritud kuusikutes näitab suhteliselt ühtlast suurenemist kuni 80 a. vanuseni, erandiks selles vanusereas on 44-aastase puistu suurem biomass (Joon. 1). Selle kuusiku suur biomass ( $304 \text{ t ha}^{-1}$ ) on ühelt poolt seletatav puistu suurema tihedusega ( $1063 \text{ tk ha}^{-1}$ ) ja teisalt ka puude parema kasvuga. Vanemate puistute (54 ja 62 a.) väiksem puude arv (vastavalt 738 ja 644  $\text{tk ha}^{-1}$ ) on aga tõenäoliselt harvendusraiate tulemus. Suurim oli uuritud puistute vanusereas maapealne biomass ( $425 \text{ t ha}^{-1}$ ) 80-aastasest kuusikust. Üleseisnud kuusikus oli maapealse osa biomass juba oluliselt väiksem, sest puistu oli hõre ning kehvas sanitaarses seisundis.

Et võrrelda tulemusi näiteks kasvukäigutabelite vastavate väärtustega, tuleb tüvemassid teisendada metsanduses üldkasutatavateks mahuühikuteks ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Kuuse tüvepuidu tihedus on erinevate allikate põhjal varieeruv, jäädes absoluutkuiva puidu puhul vahemikku 370-571  $\text{kg m}^{-3}$  (Repola, 2006; Gryc & Horacek, 2007). Käesolevas töös kasutati Eestis hariliku kuuse puistute põhjal hinnatud absoluutkuiva puidutihedust 420  $\text{kg m}^{-3}$  (Saarman & Veibri, 2006).

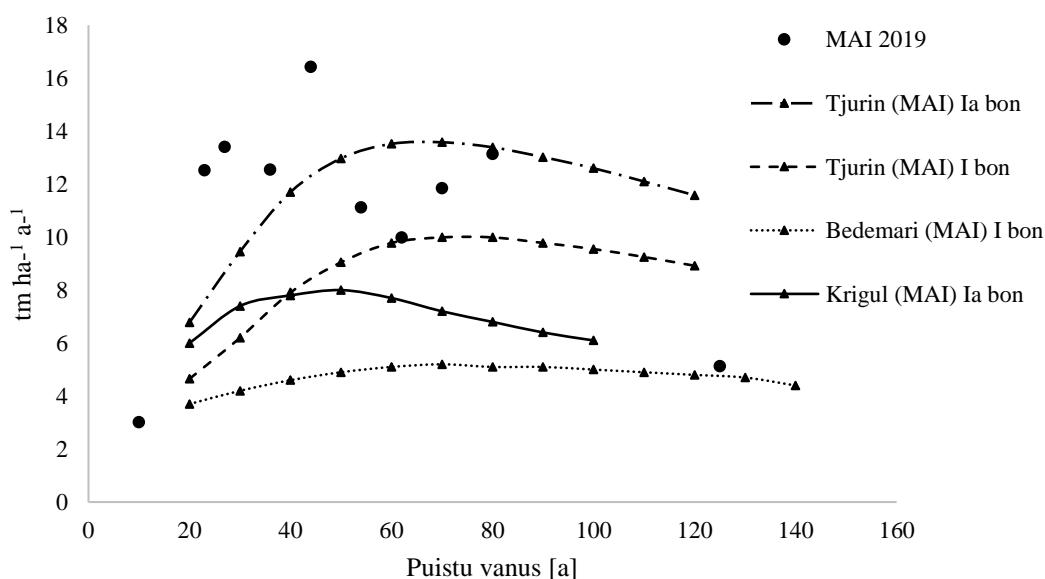
Noorendiku (10 a. puistu) tagavara oli vaid 11  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ning keskealiste puistute tagavarad jäi vahemikku 178-364  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Suurim oli tagavaraga raieküpsete metsade arenguklassis (Tabel 1), kus see jäi vahemikku 500-880  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Üleseisnud (125 a.) kuusik oli hõre ja vaatamata puude suurtele mõõtmetele oli tagavara (537  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) väiksem kui nooremates uuritud puistutes. Eesti kuusikute hektaritagavara SMI hinnangul kuni 10-aastasest noorendikes on 9  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , keskealistes 164-226  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ning valmivates 272-288  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Sama vanade raieküpsete kuusikute tagavara oli 316-339  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ning üleseisnud (121-130 aastat) puistute keskmiseks tagavaraks on hinnatud 318  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Aastaraamat Mets, 2017).

Saadud tulemused on lähedased lähiriikides tehtud uuringute tulemustega: Rootsis jäi endistel põllumaadel kasvavates 53-54 a. kuusikutes maapealse osa biomass vahemikku 194-241 t ha<sup>-1</sup> (Johansson, 1999). Lõuna-Soomes hinnati 55 a. kuusepuistu (970 tk ha<sup>-1</sup>) maapealseks biomassiks 189 t ha<sup>-1</sup> (Merilä *et al.*, 2013). Tšehhis jäi 58 a. hariliku kuuse puistute maapealne biomass vahemikku 215-317 t ha<sup>-1</sup> (Svoboda *et al.*, 2006). Varasemalt on Eestis jänesekapsa kasvukohatüübis uuritud kuuse-kase segapuistuid (Valdner, 2016). Vanusereas 30-, 40-, 53- ja 60- aastase puistu kogu maapealse osa biomassid olid vastavalt 129-, 181-, 224- ja 232 t ha<sup>-1</sup>, mis on mõnevõrra väiksemad tulemused, kui käesolevas töös lähedases vanuses puhtkuusikute puhul leitu.

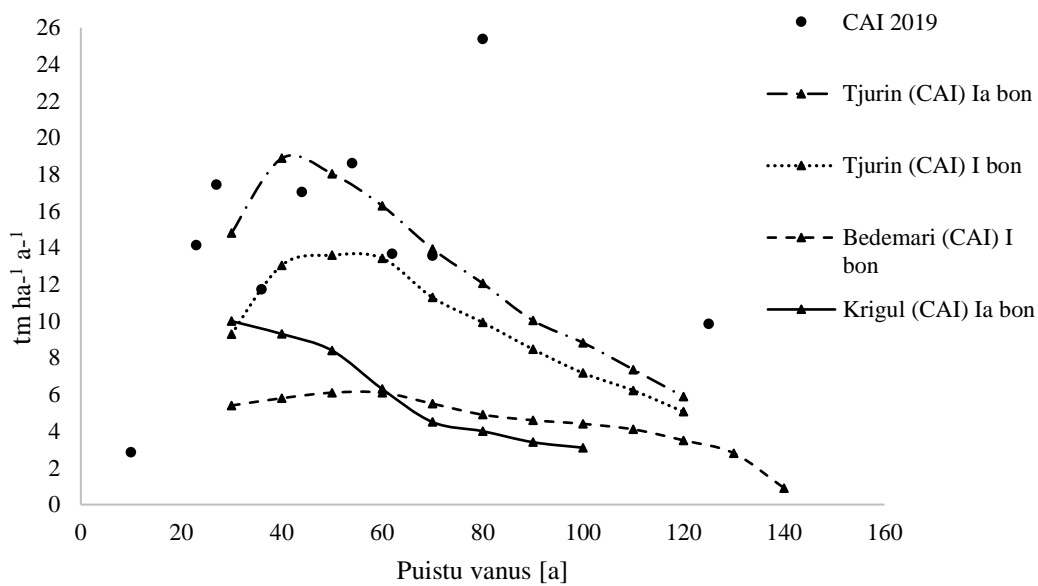
Tüvemassi keskmine aastane juurdekasv (MAI – *mean annual increment*) suurenes puistute vanuse kasvades ning saavutas maksimumi 44-aastases puistus, mille MAI oli 6,9 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Vanemates puistutes MAI langes jäädes vahemiku 4,20-5 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Üleseisnud (125 a.) puistu keskmise juurdekasvu oli 2,15 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>.

Joonisel 2 on toodud uuritud kuusikute keskmine aastane juurdekasv (MAI) võrrelduna T. Kriguli, A. Tjurini ja Vargas de Bedemari kasvukäigu tabelite vastavate väärtustega. Samuti võrreldi jooksva aastase juurdekasvu (CAI) dünaamikat eespool mainitud kasvukäigutabelite vastavate väärtustega (Joon. 3).

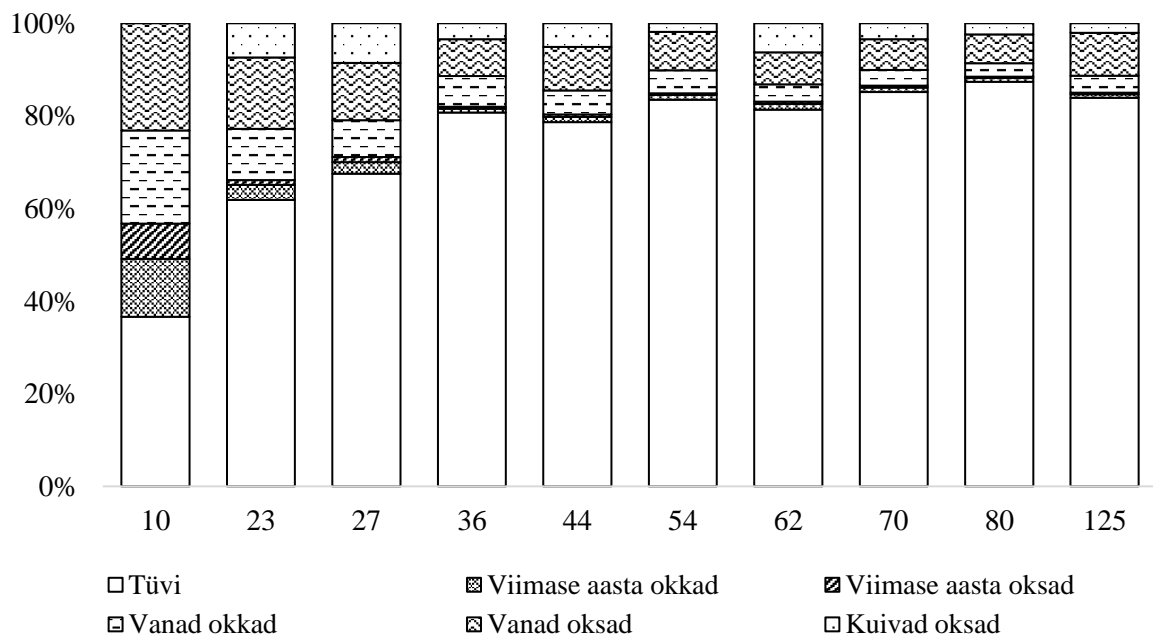
Ka sõltus maapealse biomassi fraktsioonjaotus puistu vanusest: tüvemass suurenes vanemates puistutes (Joonis 4).



**Joonis 2.** Keskmise aastase juurdekasvu (MAI) dünaamika kuusikute vanusereas ja erinevate kasvukäigutabelite põhjal



**Joonis 3.** Jooksva aastase juurdekasvu (CAI) dünaamika kuusikute vanuseraas ja erinevate kasvukäigutabelite põhjal



**Joonis 4.** Mudelpuude maapealse biomassi jagunemine fraktsioonidesse erineva vanusega kuusikutes

Tüve osakaal oli madalaim (40 %) noorimas, 10-aastases kuusikus, keskealistes ja küpsetes puistutes jäi see aga vahemikku 62-87 %.

Eelnevast tulenevalt oli jooksva aasta okaste ning okste osakaal suurem nooremates puistutes: kui 10 a. noorendikus moodustas viimase aasta okaste osakaal 12,5 % maapealsest biomassist, siis vanemates puistutes oli nende osakaal vaid 1 %.

Oksad moodustasid 10-aastases noorendikus 20 % ning vanemates puistutes jäi nende osakaal maapealsest biomassist vahemikku 6,2-9,4 %.

Kuivade okste fraktsioon noores 10-aastases puistus puudus. Kõige rohkem oli kuivi oksti keskealistes puistutes, kus nad moodustasid 3,5-8,6 % puude maapealsest biomassist. Kõige madalam oli kuivade okste osakaal (1,8 %) 54-aastases kuusikus.

Ka tüvekoore osakaal tüvemassist oli suurim 10-aastases puistus (16 %). Teistes puistutes oli tüvekoore osakaal suhteliselt sarnane, moodustades ligi 10 % puude tüvemassist.

## 2.2. Süsiniku kontsentratsioon maapealse biomassi erinevates fraktsioonides

Süsiniku (C) kontsentratsioon määrati puude maapealse osa kõikides erinevates fraktsioonides. Kirjanduse andmetel võib C sisaldus hariliku kuuse maapealse biomassi erinevates fraktsioonides varieeruda üsna suurtes piirides (43,2-50,5 %), olenedes peamiselt kasvukohast ja puistu tihedusest (Wei *et al.*, 2013). Käesolevas töös oli kõrgeim C sisaldus viimase aasta võrsetes ja kõige väiksem tüvekoores (Tabel 2). Aritmeetiline keskmine C sisaldus viljaka kasvukoha kuusiku maapealses biomassis on 47,4 %.

**Tabel 2.** Süsiniku kontsentratsioon ( $\pm$  standardhälve) hariliku kuuse maapealsetes fraktsioonides

| Fraktsioon           | Süsinik (%)      |
|----------------------|------------------|
| Viimase aasta okkad  | 46,55 $\pm$ 1,75 |
| Viimase aasta võrsed | 49,87 $\pm$ 0,69 |
| Vanad okkad          | 46,41 $\pm$ 1,59 |
| Vanad oksad          | 49,03 $\pm$ 1,08 |
| Puit                 | 48,45 $\pm$ 0,07 |
| Koor                 | 44,06 $\pm$ 0,70 |

Metsade C varude arvutamisel kasutatakse tihti keskmist C kontsentratsiooni 50 % (Gower *et al.*, 2001; Kleja *et al.*, 2007; Thomas & Martin, 2012; Kenina *et al.*, 2018). Thomas & Martin (2012) andmetel jääb paras- ning boreaalvöötmes tüvepuudu C sisaldus vahemikus 43,4-55,6 % ning okaspuude puhul vahemikku 46-55 %. Võrreldes lehtpuudega on C sisaldus okaspuudes kõrgem, seda põhjendatakse kõrgema ligniini sisaldusega (Lamlom & Savidge, 2003), Norras läbiviidud uurimuses kasutati kuusikute puhul C väärtust 49 % (Nilsen & Strand, 2013).

Varasemalt Eestis uuritud kuuse-kase segapuistutes oli kuuse mudelpuude keskmine C sisaldus erinevates puistutes 46,3 % (Hainsoo, 2016) ning 47,4 % (Valdner, 2016), mis on üsna heas kooskõlas ka käesolevas töös leitudga.

### 2.3. Süsiniku akumulatsioon maapealses biomassis

Kuna puistus seotud C kogus sõltub otseselt puude biomassist, siis järgib puistute C sidumise dünaamika biomassi dünaamikat puistute vanusereas (Tabel 3).

**Tabel 3.** Erivanuseliste kuusikute maapealses osas seotud süsiniku varud (t C ha<sup>-1</sup>)

| Vanus | Tüvepuut | Koor | Viimase<br>aasta<br>okkad | Viimase<br>aasta<br>oksad | Vanad<br>okkad | Vanad<br>oksad | Kuivad<br>oksad | Kokku |
|-------|----------|------|---------------------------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------|
| 10    | 1,6      | 0,3  | 0,7                       | 0,5                       | 1,2            | 1,4            | 0,0             | 5,7   |
| 23    | 28,9     | 3,1  | 1,9                       | 0,6                       | 6,2            | 9,1            | 4,4             | 54,3  |
| 27    | 43,7     | 5,4  | 1,8                       | 0,8                       | 5,6            | 9,2            | 6,4             | 73,0  |
| 36    | 67,4     | 6,2  | 0,8                       | 0,4                       | 5,8            | 7,4            | 3,2             | 91,2  |
| 44    | 106,0    | 8,8  | 1,6                       | 0,8                       | 7,3            | 14,0           | 7,6             | 146,1 |
| 54    | 93,9     | 7,4  | 1,2                       | 0,4                       | 5,8            | 10,3           | 2,2             | 121,3 |
| 62    | 94,1     | 7,6  | 1,4                       | 0,7                       | 4,5            | 8,8            | 8,0             | 125,1 |
| 70    | 129,8    | 10,8 | 1,4                       | 0,7                       | 5,5            | 11,1           | 5,8             | 165,2 |
| 80    | 164,1    | 14,3 | 1,6                       | 0,6                       | 5,6            | 13,0           | 5,0             | 204,3 |
| 125   | 98,0     | 10,4 | 0,9                       | 0,5                       | 4,6            | 12,3           | 2,7             | 129,3 |

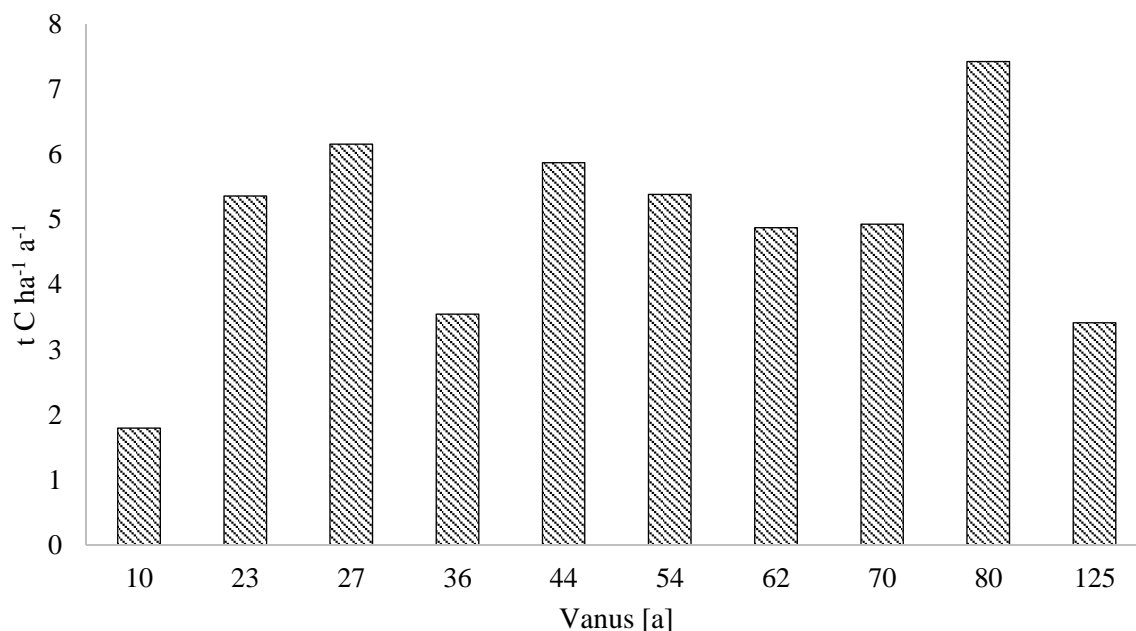
Suurim oli soetud C kogus valmivates ning raieküpsetes puistutes. Üleseisnud puistu maapealse biomassi C varu oli madalam kui nooremates vanuseklassides, mis on seletatav puistu olulise hõrenemisega selles vanuses.

Norras hinnatud kerge- ning keskmise raiekraadiga harvendatud 81-aastaste kuusikute (Nilsen & Strand, 2013) C varud olid vastavalt 220 ja 199 t C ha<sup>-1</sup>. Tsehhi mägistel aladel kasvavate 116-127 aasta vanustes kuusikutes oli keskmine puudes seotud C kogus (165 t C ha<sup>-1</sup>) (Svoboda

*et al.*, 2006), so. tunduvalt kõrgem kui käesolevas töös üleseisnud kuusikus hinnatud C varu. Jänese kapsa kasvukohatüübi kuuse-kase 30-aasta vanustes segapuistutes hinnati kuuskede maapealses biomassis seotud C koguseks 71-79 t C ha<sup>-1</sup> (Hainsoo, 2016).

## 2.4. Süsiniku sidumine puude aastases produktsioonis

Käesolevas töös hinnati C sidumist jooksva aasta tüvepuidu juurdekasvus ning viimase aasta okste ja okste produktsioonis. Seega ei kajastu esitatud andmetes tüvekoore ja okste aastases produktsioonis seotud C kogus. Nendes fraktsioonides aasta jooksul seotud C dünaamika uuritud puistute vanuseraas on esitatud joonisel 5.



**Joonis 5.** Aastane süsiniku sidumise dünaamika kuusikute vanuseraas. Seotud süsinik tüvepuidus, jooksva aasta okastes ning võrsetes

Tulenevalt puude väikestes mõõtmetest oli C sidumine puude maapealsesse biomassi väga noores puistus madal, 10-aastases kuusikus 1,79 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Keskealiste puistute C sidumise voog on võrreldes noorendikega ligi kolm korda kõrgem, mis on seletatav kuuse kasvukiiruse kulmineerumisega selles vanuses (Krigul, 1971). Erandiks on 36-aastane puistu, kus väiksem C sidumine oli tingitud madalamast puistu tihedusest (harvendusraie mõju). Vanemate puistute C sidumise trend oli peamiselt langev ning üleseisnud puistus seotud C kogus (3,41 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) oli ligi kaks korda madalam kui keskealistes puistutes.



## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata erineva vanusega jänesekapsa kasvukohatüübi kuusikute maapealset biomassi ning selles akumulunud süsiniku (C) varusid. Samuti hinnati erivanuseliste kuusikute aastast jooksvat juurdekasvu ning selles seotud C voogu. Töö põhineb andmestikul, mis on saadud kümnes erineva vanusega kuusikus (vanusevahemikus 10-125 aastat) läbi viidud uurimistööl. Puistute maapealse biomassi hinnangu saamiseks on kasutatud mudelpuude meetodit, seotud C varude hindamiseks määrati C sisaldus kõikides kuuse maapealse biomassi fraktsioonides.

Uuritud puistute vanusereas oli puude maapealne biomass suurim 70- ja 80-aastastes raieküpsetes puistutes, vastavalt 343 ning 424 t ha<sup>-1</sup>.

Fraktsioonide lõikes oli suurima osakaaluga tüvemass, tüvemassi osakaal kogu puude maapealsest biomassist suurenes puistu vanuse kasvades: noorendikes ning keskealistes kuusikutes jäi tüvemassi osakaal vahemikku 40-70 %, vanemates puistutes aga vahemikku 80-85 %.

Analüüsitud C sisaldus varieerus erinevate maapealse biomassi fraktsioonide vahel vähe, olles enamasti alla 50 %. Suurima osakaaluga tüvepuu fraktsiooni C sisaldus oli 48 %.

Süsiniku varu hariliku kuuse maapealse osa biomassis oli uuritud puistute vanuserea lõikes tõusev, saavutades maksimumi 80-aastases kuusikus (204 t C ha<sup>-1</sup>) ning vähenes üleseisnud puistus, kus hinnati maapealsesse biomassi akumulunud C varuks 129 t C ha<sup>-1</sup>. C varu vähenemine tulenes puistu kehvast sanitaarsest seisundist ning sellest tingitud harvenemisest. Aastane C sidumine kuusiku maapealses biomassis (tüvepuu pluss jooksva aasta võrsed ning okkad) oli madalam puistu noores eas ja kulmineerus keskealistes puistutes, jäädes vahemikku 5,3-6,2 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Valmivates ning raieküpsetes puistutes oli C sidumine stabiilsel tasemel või pisut vähenev, kuid üleseisnud 125-aastases kuusikus uuritud puistutest madalam 3,41 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Käesolevas töös esitatud tulemused kirjeldavad Eesti viljakate jänesekapsa kasvukohatüübi kuusikute maapealse biomassi ning sellesse seotud C dünaamikat puistute vanusereas. Kogu kuusiku C varude ning voogude dünaamikat kajastavate mudelite koostamiseks on vaja hinnata lisaks puistute varise voogu, maa-aluse osa biomassi ning produktsiooni, aga ka alustaimestiku

biomassi ning mullahingamise voogu. Seega on puistute C ringest tervikliku pildi saamiseks vaja läbi viia täiendavaid uuringuid.

## VIIDATUD ALLIKAD

- Aastaraamat Mets 2017 (2018). Ed. Raudsaar M., Siimon L-K., Valgepea M. Keskkonnaagentuur. [on-line] ebrary (13.03.2019).
- Aosaar, J., Varik, M., Lõhmus, K., Ostonen, I., Becker, H., Uri, V.** (2013). Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. – European Journal of Forest Research. Vol. 132 (5-6), pp. 737–749.
- Bormann, B. T., Gordon J. C.** (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. – Ecology. Vol. 65, pp. 394–402.
- Buht M.** (2017). Süsiniku varud erineva vanusega mustika kasvukohatüübi männikute (*Pinus sylvestris*) maapealses biomassis – Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool. Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 24 lk.
- Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014-2020 (2014). Maaeluministeerium. <https://www.agri.ee/sites/default/files/content/arengukavad/mak-2014/mak-2014-arengukava-v4-2018-12-12.pdf> (12.06.2019).
- Eesti metsanduse arengukava aastani 2030 alusuuringu aruanne (2018). Tartu. Eesti Maaülikool, Tartu Ülikool. [https://www.envir.ee/sites/default/files/mak2030\\_alusuuringu\\_aruanne.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/mak2030_alusuuringu_aruanne.pdf) (12.06.2019).
- Eesti seitsmes kliimaaruanne (2017). Keskkonnaministeerium [https://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article\\_files/kliimaaruanne-2017\\_est.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/kliimaaruanne-2017_est.pdf) (12.03.2019).
- Gower S. T., Krankina O., Olson R. J., Apps M., Linder S., Wang C.** (2001). Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems – Ecological Applications. Vol. 11, pp. 1395–1411.
- Gryc V., Horacek P.** (2007). Variability in density of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) wood with the presence of reaction wood – Journal of Forest Science. Vol. 53(3), pp. 129–137.
- Hainsoo K.** (2016). Puuliigi osakaalu mõju puistu süsiniku sidumisele keskealises kuuse-kase segametsas – Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 23 lk.

- Hofmann J. D., Butler H. J., Dlugokencky J. E., Elkins W. J., Masarie K., Montzka A. S., Tans P.** (2006). The role of carbon dioxide in climate forcing from 1979 to 2004 introduction of the Annual Greenhouse Gas Index. – *Tellus*. Vol. 58 B, pp. 614–619.
- Houghton A. R., House, I. J., Pongrantz, J., Werf R. G., Defries S. R., Hansen C. M., Quere Le. C., Ramankutty N.** (2012). Carbon emissions from land use and land- cover change. – *Biogeosciences* Vol. 9, pp. 5125–5142.
- Hytönen J., Saarsalmi A., Rossi P.** (1995). Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. – *Silva Fennica*. Vol. 29(2), pp. 117–139.
- Johansson T.** (1999). Biomass production of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing on abandoned farmland. – *Silva Fennica*. Vol. 33(4), pp. 261–280.
- Kenina L., Elferts D., Baders E., Jansons A.** (2018). Carbon pools in hemiboreal over-mature Norway Spruce stands. – *Forests*. Vol. 9, pp. 435.
- Kleja B. D., Svensson M., Majdi H., Jansson P-E., Langvall O., Bergkvist B., Johansson M-B., Weslien P., Truusb L., Lindroth A.** (2008). Pools and fluxes of carbon in three Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden – *Biogeochemistry* Vol. 89, pp. 7–25.
- Krigul T.** (1971) Metsataksaatori teatmik – Eesti Põllumajanduse Akadeemia. 150 lk.
- Kriiska K., Frey J., Asi E., Kabral N., Uri V., Aosaar J., Varik M., Napa Ü., Apuhtin V., Timmusk T., Ostonen I.** (2019). Variation in annual carbon fluxes affecting the SOC pool in hemiboreal coniferous forests in Estonia – *Forest Ecology and Management*. Vol. 433, pp. 419–430.
- Laas E., Uri, V., Valgepea M.** (2011). Metsamajanduse alused: õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikooli Kirjastus. 862 lk.
- Lamlom H. S., Savidge A. R.** (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species – *Biomass and Bioenergy* Vol. 25, pp. 381–388.
- Loria K.** (2018). The amount of carbon dioxide in the atmosphere just hit its highest level in 800,000 years, and scientists predict deadly consequences – *Business Insider*. [e-ajakiri] [https://www.businessinsider.com/carbon-dioxide-record-human-health-effects-2018-5?utm\\_source=feedly&utm\\_medium=webfeeds&r=US&IR=T](https://www.businessinsider.com/carbon-dioxide-record-human-health-effects-2018-5?utm_source=feedly&utm_medium=webfeeds&r=US&IR=T) (12.03.2019).
- Lõhmus K., Mander Ü., Tullus H., Keedus K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. - *Proceedings of a joint Swedish – Estonian seminar on Energy Forestry and Vegetation Filters*. (Eds. K. Perttu, A. Koppel), Tartu, Estonia. pp. 95–105.
- Lõhmus E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. EPMÜ Metsanduslik Uurimisinstituut. Tartu. Eesti loodusfoto. 80 lk.
- Merilä P., Mustajärvi, K., Helmisaari H.S, Hilli S., Lindroos A.J., Nieminen M. T., Nöjd P., Rautio P., Salemaa M., Ukonmaanaho L.** (2013). Above- and below-ground N stocks in

- coniferous boreal forests in Finland: Implications for sustainability of more intensive biomass utilization. – *Forest Ecology and Management*. Vol. 311, pp 17–28.
- Metsa korraldamise juhend lisa 3. (Vastu võetud 16.01.2009). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/126022014016> (7.05.2019).
- Metsa majandamise eeskiri (Vastu võetud 27.12.2006). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/126022014016> (7.05.2019).
- Nilsen P., Strand L. T.** (2013). Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands – *Silva Fennica*. Vol 47, pp 11.
- Page L. M.** (2019). Carbon dioxide levels will soar past the 410 ppm milestone in 2019 – *NewScientist*. [e-ajakiri] <https://www.newscientist.com/article/2191881-carbon-dioxide-levels-will-soar-past-the-410-ppm-milestone-in-2019/> (6.05.2019).
- Pan Y., Birdsey A. R., Fang J., Kauppi E. P., Kurz W. A., Phillips O. L., Shvidenko A., Lewis S. L., Canadell G. J., Ciais P., Jackson R. B., Pacala S. W., McGuire D., Piao S., Rautiainen S., Hayes D.** (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests – *Science* Vol. 333, pp. 988–993.
- Repola J.** (2006). Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density – *Silva Fennica*. Vol. 40(4), pp. 673–685.
- Saarman E., Veibri U.** (2006). *Puiduteadus*. Tartu: Eesti Metsaselts. Valli Press OÜ. 560 lk.
- Silm D.** (2018). Hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) maapealne ja maa-alune biomass ning selles seotud süsinikuvaru mustika kasvukohatüübis – Magistritöö, Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 28 lk.
- State of the World's Forests 2016. (2016). Ed. Muller E. - Food and Agriculture Organization of the United Nations [on-line] ebrary (7.05.2019).
- Stephens B. B., Gurney R. K., Tans P. P., Sweeney C., Peters W., Bruhwiler L., Ciais P., Ramonet M., Bousquet P., Nakazawa T., Aoki S., Machida T., Inoue G., Vinnichenko N., Lloyd J., Jordan A., Heimann M., Shibistova O., Langenfelds L. R., Steele P. L., Francey J. R., Denning S. A.** (2007). Weak Northern and Strong Tropical Land Carbon Uptake from Vertical Profiles of Atmospheric CO<sub>2</sub>. – *Science*. Vol. 316, pp. 1732–1735.
- Svoboda M., Matejka K., Kopacek J., Žaloudik J.** (2006). Estimation of tree biomass of Norway spruce forest in the Plešné Lake catchment, the Bohemian Forest. – *Biologia*. Vol. 61, pp. 523–532.
- Taastuvenergia Statistika (2018). Eurostat [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/et](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/et) (15.05.2019)
- Thomas C. S., Martin R. A.** (2012). Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. – *Forests*. Vol. 3, pp. 332–352.

- United Nations Framework Convention On Climate Change (UNFCCC) Handbook (2016). Ed. Blobel D., Meyer-Ohlendorf N. Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy [on-line] ebrary (12.03.2019).
- Uri M.** (2016). Süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes – Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 24
- Uri V., Aosaar J., Varik M., Becker H., Ligi K., Padari A., Kanal A., Lõhmus K.** (2014). The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. – Forest Ecology and Management. Vol. 327, pp. 106–117.
- Uri V., Kukumägi M., Aosaar J., Varik M., Becker H., Aun K., Krasnova A., Morozov G., Ostonen I., Mander Ü., Lõhmus K., Rosenvald K., Kriiska K., Soosaar K.** (2019). The carbon balance of a six-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem estimated by different methods – Forest Ecology and Management. Vol. 433, pp. 248-262.
- Uri V., Kukumägi M., Aosaar J., Varik M., Becker H., Soosaar K., Morozov G., Ligi K., Padari A., Ostonen I., Karoles K.** (2017). Carbon budgets in fertile grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) stands of different ages – Forest Ecology and Management. Vol. 396, pp. 55-67.
- Uri V., Varik M., Aosaar J., Kanal A., Kukumägi M., Lõhmus K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile Silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. – Forest Ecology and Management. Vol. 267, pp. 117–126.
- Uri V., Lõhmus K., Ostonen I., Tullus H., Lastik R., Vildo M.** (2007) Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. – European Journal of Forest Research. Vol. 126(4), pp. 495–506.
- Valdner R.** (2016). Maapealse süsiniku varud kuuse-kase segapuistute vanusereas – Magistritöö. Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 27 lk.
- Varik M., Kukumägi M., Aosaar J., Becker H., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V.** (2015). Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence – Ecological Engineering. Vol. 77, pp. 284-296.
- Varik M.** (2009). Biomassi produktsioon ja süsiniku akumulatsioon jänesekapsa kasvukohatüübi arukaasikutes – Magistritöö, Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 55 lk.
- Varik, M., Aosaar, J., Ostonen, I., Lõhmus, K., Uri, V.** (2013). Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. – Forest Ecology and Management. Vol. 302, pp. 62–70.
- Wei Y., Li M., Chen H., Lewis J. B., Yu D., Zhou L., Zhou W., Fang X., Zhao W., Dai L.** (2013). Variation in Carbon Storage and Its Distribution by Stand Age and Forest Type in Boreal and Temperate Forests in Northeastern China – Plos One. Vol. 8 (8).

**Whittaker R. H., Woodwell G. M.** (1968) Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest. New York – Ecology. Vol. 56, pp. 1–25.

**LISAD**



## **Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Ants Nokkur  
sünniaeg 06.07.1993,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Süsiniku sidumine ja varud erineva vanusega jänesekapsa kasvukohatüübi kuusikute (*Picea abies* [L.] Karst) maapealses biomassis,

mille juhendajad on Veiko Uri, Mats Varik

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,  
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja  
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

---

### **Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

---

(juhendaja nimi ja allkiri)

---

(kuupäev)

---

(juhendaja nimi ja allkiri)

---

(kuupäev)